画像解析による表面あらさの測定

水谷　芳樹*1，阿部　利彦*2，鷲見　新一*3
高橋　利夫*1

Measurement of Roughness by Means of Image Analysis Method

Yoshiki MIZUTANI, Toshihiko ABE, Shin-ichi SUMI
and Toshio TAKAHASHI

Several techniques are applied for measuring roughness of metal surface. Irregular patterns like crater are observed under the optical microscopic observation of metal surface cut by Wirecut Electrical Discharge Machine (Wirecut EDM). As the determination of roughness of the surface was difficult from the optical microscopic image, the image analysis was applied for this surface. SKD steels cut by Wirecut EDM were used for samples. Five kinds of roughness-samples were prepared by changing electric processing condition of Wirecut EDM.

The following results were obtained.

(1) As surfaces became rougher, the total bright part of the microscopic image decreased and also average area values of each bright part decreased.

(2) The faster cutting speed of Wirecut EDM became, the rougher surface of samples became and the average area values of each bright part of the microspic image decraesed.

(3) The relation between roughness and area percent of bright parts was reverse correlation.
Coefficients of variance for R_a, R_z, R_{max} and R_q were 0.7, 3.1, 5.7 and 1.6% respectively. Correlation coefficients for R_a, R_z, R_{max}, and R_q were −95.2, −90.1, −85.8 and −97.6% respectively.

(4) Roughness was expressed for a function of total bright parts in the microscopic image. The following equation was obtained for R_a.

$$R_a = -0.0193 \times (\text{area percentage of bright parts}) + 2.665$$

1．まえがき

表面あらさを測定する方法には触針法や光の干渉または反射強度を用いる方法，顕微鏡を用いて表面のプロフィルを読み取る方法，吸着法，静電容量法など多くの方法[1),2)]があり，種々の目的に用いられている。

これら提案されている方法の中で顕微鏡を用いる方法は定性的であり，表面プロフィルを読み取る方法は切断試料の作製や読み取り作業がめんどうである。また，光の干渉法では細いスリットを用いる関係上，高い精度であらさを測定するためには十分な振動対策を施す必要がある。最も手軽に行われている触針法では，直線的走査測定であるため機械加工に沿った方向のあらさを測定することが困難である。このように，加工面のあらさの簡易評価法は，いまだ確立されているとはいえない現状にある。

本研究で行う画像解析法は光学顕微鏡像を一瞬のうちに画像メモリーに記憶するため，振動による測定誤差が少なく，また，視野全体の光学顕微鏡像を瞬時に数値化できるため触針法のような方向性を考慮する必要がない。また，光学顕微鏡で金属表面を観察する場合，平滑面では鮮明な観察像が得られるが，凹凸の多いところでは乱反射するため輝度の低い像が得られる特長がある。これらの点を利用して，本研究では光学顕微鏡像をCCDカメラを介して画像解析装置に取り込み，輝度の違いを数値解析することにより金属加工

*1　機械金属部機械金属課
*2　　同　　機械金属課長
*3　機械金属部機械金属課応用電子研究室

表1　ワイヤカット放電加工機の加工条件

加工条件	1	2	3	4	5
ワーク厚さ (mm)	26	26	26	26	26
無負荷電圧	5	6	6	6	7
キャパシタ	5	6	6	6	7
オンタイム	5	4	4	4	4
オフタイム	20	18	15	12	26
サーボ電圧	20	18	18	18	17
ワイヤ張力	1100	1100	1100	1100	1200
送り速度	5	5	5	5	4
切断速度 (mm/min)	0.87	2.0	2.5	2.6	2.7

面のあらさを評価することを試みた。

2．試料および実験方法

市販のSKD鋼をファナック社製のワイヤカット放電加工機（WO)を用いて，表1に示す加工条件により切り出し，表面あらさ測定用の試料とした。ワイヤカットの電極として0.25mmの黄銅製のワイヤを用いた。試料の切断は流水中で行った。

切り出した試料表面を，ピアス社製の画像解析装置PIAS－Ⅱを用いて画像解析を行った。この装置のデジタル画像メモリーの仕様[3]は画素数512×512，256階調8ビットの画面を4枚備えており，記憶した画像メモリーの内容をNECのコンピュータ（PC 9801）により画像処理を行うものである。この画像解析では，ニコン社製の光学顕微鏡像（150倍）をCCDカメラに取り込み画像解析装置に記憶させる。この記憶したモノクロの画像は8ビットで256階調の明るさに分けて表示されるため，あらかじめ，しきい値を決めて2値化処理した後，画像解析を行った。

また，ワイヤカット放電加工機により切り出された試料をミツトヨ製の表面あらさ計（サーフテスト402）を用いて表面あらさの測定を行い，表面あらさの基準とした，このあらさ計は触針式であり，触針（ダイヤモンド製）の先端は円錐形90°で半径が5 μmである。

3．実験結果

3－1　加工面に及ぼすワイヤカットの加工条件

ワイヤカット放電加工機で切断した試料表面の走査型電子顕微鏡写真の一例を図1に示した。試料は1回のパルス放電ごとに微小部分が溶融あるいは気化する[4),5)]。そのため溶融したところは滑らかで明るい部分となり，気化したところはクレータ状となっている。また，切断速度は放電エネルギーに基ずくが，表1の中で放電を強くするファクター[6)]には放電コンデンサー容量を設定するキャパシタ，充電電流のオンパルス幅を意味するオンタイム，充電電流のオフパルス幅を意味するオフタイム等があるが，主にオフタイムに

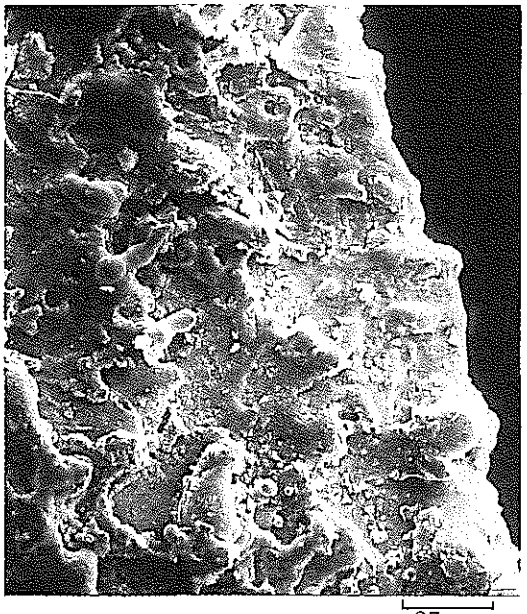

図1　ワイヤカットによる切断面の走査電顕写真

表2　顕微鏡像の明るい部分の面積率

試料	面積率（%）
1	38.5
2	16.9
3	13.6
4	10.8
5	7.9

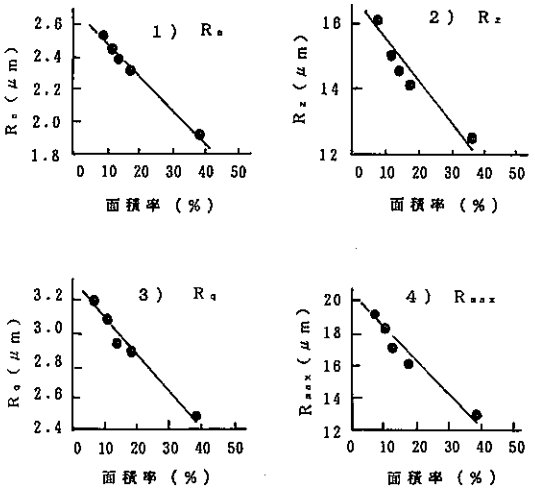

図3　光学顕微鏡像の明るい部分の面積率と表面あらさの関係

より放電エネルギーを調節した。

表1の最下段に切断速度を示した。加工条件1の試料の切断速度は最も遅く，0.87㎜/minである。一方，加工条件4の場合，2.6㎜/minであり，オフタイムの減少が加工速度の増加に有効であることが分かる。

図2に切断面の光学顕微鏡像を示した。同図の写真(1)は明るい部分が最も多い試料である。この試料の切断は加工条件1で行っており，切断速度は最も遅い。一方，写真(4)は明るい部分が最も少ない試料で，加工速度は最も早いものである。この図から図1の写真中の平滑な部分は，ワイヤカットの切断速度が遅いほど多くなることが分かる。

3−2　顕微鏡像の画像解析

走査型電子顕微鏡像は焦点深度が大きいため全体が

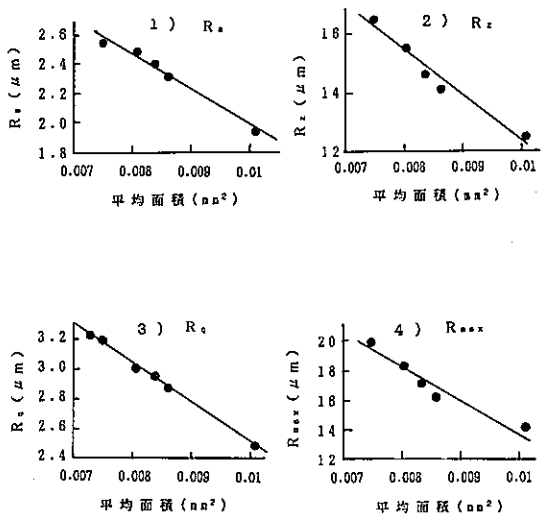

図4　明るい部分の平均面積とあらさの関係

鮮明に見える傾向があり，光学顕微鏡に比べて高低の差が出にくい。従って，本法では平滑な部分は明るく，他の部分は暗く見えるように数値化できる光学顕微鏡像による画像解析法を採用した。画像解析は，しきい値170で2値化処理を行った後，明るい部分の面積率を求めた。なお，ワイヤカットでは，切断中ワイヤのしなり等に起因する切断条件の違いにより，測定値にバラツキを生じるため5ケ所について測定を行い平均値を求めた。これを表2に示した。面積率は，試料1の場合，38.5%であったが，試料5では7.9%になり，かなり変動することが分かる。

次に，これらの面積率とあらさ計より求めた測定値との関係を図3に示した。この図より面積率の大きい試料ほど滑らかであることが分かる。R_a（中心線平均あらさ），R_z（十点平均あらさ），R_{max}（最大高さ），R_q（自乗平均平方根あらさ）のいずれの場合においても良い負の相関関係が見られた。

以上は画像中の明るい部分の面積率に注目して行ったものであるが，次に，明るい部分の個々の平均面積を画像解析により求め，その値とあらさ計による測定値との関係を図4に示した。これによると平均面積が大きいほど滑らかであることが分かる。これも面積率の場合と同様，きわめて良い負の相関関係が見られる。

図5はワイヤカット放電加工機の切断速度と，光学顕微鏡像の明るい部分の平均面積との関係を示す。また同図に，切断速度とあらさ計の測定値との関係もあわせて示した。切断速度が遅い試料ほど明るい部分の

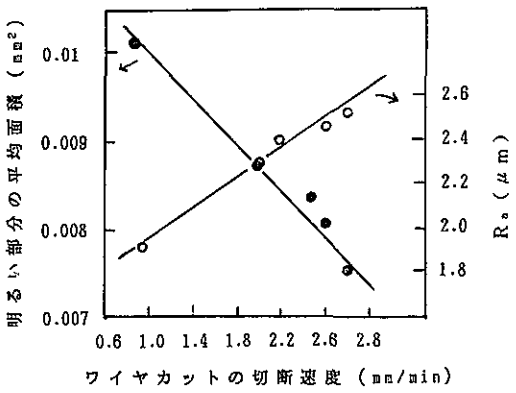

図5　ワイヤカットの切断速度と光学顕微鏡像中の明るい部分の1つの平均の大きさ及びあらさとの関係

面積が増大している。また，切断速度が速いほど表面は粗くなっていることが分かる。

4．考　察

ワイヤカット放電加工機の切断面に対し，画像解析法による表面あらさ測定方法を検討した結果，光学顕微鏡像の明るい部分の面積率と個々の平均面積は表面あらさと密接な関係があることが明らかになった。

そこで，表面あらさを明るい部分の面積率の関数として表す実験式を求めた。

R_a について，最小自乗法を用いて計算したところ，次式が得られた。

$$Y1 = -0.0193\,X + 2.665$$

Y1：中心線平均あらさ

X：明るい部分の面積率（%）

この場合の変動係数は0.7%であった。

R_z については，次式が得られた。

$$Y2 = -0.1143\,X + 16.685$$

Y2：十点平均あらさ

この場合の変動係数は3.1%であった。

R_{max} については，次式が得られた。

$$Y3 = -0.158\,X + 19.751$$

Y3：最大高さ

変動係数は5.7%であった。

R_q については，次式が得られた。

$$Y4 = -0.0222X + 3.307$$

Y4：自乗平均平方根あらさ

変動係数は1.6%であった。

また，相関係数を R_a，R_z，R_{max}，R_q について求めたところ，それぞれ-95.2%，-90.1%，-85.8%，-97.6%であり，良い負の相関関係があった。

以上のように，表面あらさを画像解析法により求めた面積率を用いて計算したところ，触針法による測定結果と非常によい対応が得られ，画像解析法が表面あらさの計測に有効であることが明かになった。しかし，光学像は表面の酸化により相対的に輝度が低下する場合もあるので注意が必要である。

5．ま　と　め

ワイヤカット放電加工機による切断面について，光学顕微鏡像をCCDカメラを用いて画像メモリーに取り込み，画像解析法により表面あらさを測定する方法について検討したところ，以下のことが明らかになった。

(1) ワイヤカット放電加工機の切断速度が増大すると表面は粗くなり，光学顕微鏡像の明るい部分の個々の平均面積は小さくなった。

(2) 光学顕微鏡像の明るい部分の面積率及び個々の平均面積が小さくなると表面あらさが粗くなった。

(3) あらさと明るい部分の面積率との関係を最小自乗法により求めたところ，変動係数は R_a，R_z，R_{max}，R_q に対して，それぞれ0.7%，3.1%，5.7%，1.6%となった。また，相関係数はそれぞれ-95.2%，-90.1%，-85.8%，-97.6% であり，良い負の相関関係があることが明かになった。

(4) 表面あらさを光学顕微鏡像の明るい部分の面積率の関数として表すことが出来た。

(5) 本方法は触針法に比べて手がるであり，測定時間の短縮が可能である。しかし試料の酸化には注意を要する。

参　考　文　献

1）金属表面技術協会編，金属表面技術便覧，p.165-172 日刊工業新聞社.

2）大谷南海男，金属表面工学，日刊工業新聞社，p.4-5 (1966).

3）PIAS－Ⅱ User's manual REV.8.0,㈱ピアス.

4）井上潔，放電加工の原理，p.83-86，(1983)，未踏加工技術協会.

5）セラミックス加工ハンドブック編集委員会，セラミック加工ハンドブック，p.364-369，建設産業調査会 (1987).

6）FANUC TAPE CUT (WO) 取扱説明書，FANUC㈱.

(昭和63年11月8日受理)